

「Meal-fed ラットにおける活動期初期の摂食に対する 褐色脂肪組織の経時的応答」

辻本尚弥・谷 健二*・石河利寛

—Time course of metabolic response in brown adipose tissue of
meal-fed
rats to the meal at early stage of active period of the day—

HISAYA Tsuzimoto・KENJI Tani・TOSHIHIRO Ishiko

Abstract

The brown adipose tissue(BAT) is the major site of heat production in mammalian thermogenesis. We investigated the time course of metabolic response in the interscapular BAT (IBAT) to a single time-restricted meal in Wistar strain meal-fed rats. Rats (N=69) were allowed to approach a standard diet twice a day (08-09 hour, 20-21 hour) for 14 days. Eight experimental time points were set: 180 min before meal initiation, 0, 30, 60, 90, 120, 180 and 240 min after meal initiation. Meal-deprived groups were prepared 180 and 240 min after meal initiation. Wet weight of the IBAT was not influenced by the meal. This weight at the initiation of meal was less than that of 180 min before meal. The IBAT glycogen contents per 1g wet weight measured 90, 180 min after meal initiation were higher than those at the initiation of meal. The IBAT total glycogen contents measured 60, 90, 120, 180 min after meal initiation were higher than those at the initiation of meal. The glycogen content of the IBAT in meal-fed group was higher than that of meal-deprived group measured 180 and 240 min after meal initiation. No change was observed in the IBAT protein content. Oxygen consumption of the IBAT was not influenced by the meal on the time course after the meal. This oxygen consumption at the initiation of meal was higher than that 180 min before meal. The correlations of oxygen consumption of the IBAT per 10mg protein to other items were observed (positive to body weight and glycogen content, negative to tissue weight and protein content).

These results were slightly different from previous studies. Participation of the IBAT to diet-induced thermogenesis was influenced by meal-feeding pattern. In addition, heat production of the IBAT in meal-fed rats was responded expectantly to the meal.

I 緒 言

脂肪組織には、体脂肪を貯蔵する役割を果た

している白色脂肪組織 (White Adipose Tissue : WAT) と、体熱産生を活発に行うことで体内の余剰エネルギーを消費する役割を担っている

* 静岡大学

褐色脂肪組織 (Brown Adipose Tissue: BAT) とがあり両者は相反する働きを持っている¹¹⁾¹⁸⁾。BAT は、食餌誘発性体熱産生 (Diet-Induced Thermogenesis: DIT) の研究においてその主要な熱産生器官の場として注目されている¹⁵⁾。Rothwell と Stock は、ラットの嗜好にあう様々な食餌 (カフェテリア食) を用意することで自発的に過食させ、そのエネルギーバランスを測定した結果、肥満の防止という点から、余剰な部分を含む摂取エネルギーの一部を熱として消費する DIT の機構が適応的に発達し、この DIT には交感神経系と BAT が重要な働きをしていることを明らかにしている¹³⁾、さらに Glick らは、高炭水化物、低脂肪の 1 回の摂食に対する熱産生の応答にも BAT が主体的な関与をしていることを実証した⁴⁾。そして古くから、その現象が確かめられている特異動的作用 (Specific Dynamic Action: SDA) と DIT は、代謝の機構を同じくし SDA の総和として DIT があることを示唆している。さらに 1 回の摂食に対して、BAT の組成⁶⁾ や血流量⁷⁾ も変化することを明らかにしている。

一方、Forsum らは、摂取カロリーを制限した食事で SDA が減少することをラットで確かめている²⁾。しかし、標準食を用いての人間の食生活に近い時間制限食が、ラットの 1 回の摂食に対する体熱産生応答にどのような影響を及ぼすかについてはまだよくわかっていない。さらに、その際の BAT の役割についても明らかでなく、時間制限食での BAT を含めた他の組織の体熱産生応答に関して詳細に研究された例は少ない⁵⁾¹⁹⁾。

そこで、本研究では、1 日 2 食の時間制限食で飼育したラットにおいて、1 回の摂食に対する体熱産生応答に BAT がいかなる関与をしているかについての基礎的資料を得るために、BAT の酸素消費量の測定を中心に、摂食から摂食後にかけての経時的な変化を検討した。

II 方 法

1. 実験動物及び飼育方法

実験には、生後 5 週令の J. c. I-SD 系 (日本

クレア株式会社) 雄ラット (体重 120–130 g) 69 匹を用い、ステンレス製ワイヤーケージにて個別に飼育した。飼育室内は、室温 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ に維持し、07–19 時を暗期、19–07 時を明期とする 12 時間の明暗サイクルとした。飲水は自由摂取とした。体重と摂食量は毎日 17 時に測定した。飼料は、市販の粉末飼料 (CE-7: 日本クレア株式会社) を用いた。摂食様式は、1 日 2 食とし、08–09 時と 20–21 時の各々 1 時間を摂食時間とした。ラットは、予備飼育をし 6 日間かけて新しい摂食様式に慣れさせた。

2. 実験方法

14 日間上記の実験方法にて飼育した後、体重を計測し実験に供した。ラットの活動期初期の摂食に対する応答をみるため、08–09 時の摂食時間帯において、摂食開始 180 分前、摂食開始直前 (0 時)、摂食開始後 30, 60, 90, 120, 180, 240 の 8 時点で、0 時点では 15 匹、その他の時点では各々 6 匹ずつ断頭屠殺した。なお摂食させない群として欠食群を設け、摂食開始後 180, 240 分の 2 時点で各々 6 匹ずつ断頭屠殺した。断頭屠殺後、直ちに室温にて、肩甲骨間褐色脂肪組織 (Interscapular Brown Adipose Tissue: IBAT) を摘出し、周囲の白色脂肪組織、筋肉を慎重に取り除き、組織重量を秤量した。IBAT 全量からグリコーゲン含量測定のためのサンプルをとり、残りを酸素消費量の測定とタンパク質濃度の測定に用いた。

3. IBAT 酸素消費量の測定

IBAT 酸素消費量は、谷らの方法を用い *in vitro* で測定した¹⁹⁾。まず IBAT の全湿重量からグリコーゲン含量測定のためのサンプルを取った。次に残りの組織から 150–160 mg を分取し、酸素消費量測定用容器の Krebs-Ringer-bicarbonate buffer ($1/2 \text{ Ca}^{2+}$), pH 7.4, 4 ml 中に入れ、はさみにて細かくチョップした後、 O_2 アップテスター (6 C, 大洋科学工業 K. K.) にて酸素消費量を測定した。炭酸ガス吸収剤としては、20% KOH を用いた。測定は 37°C 恒温水槽に容器を投入、30 分のプレインキューベーション

ン後, 10 分毎に 3 回行った。その測定値より回帰直線の式を求め, 1 時間あたりの酸素消費量を算出し, それを IBAT 酸素消費量とした。酸素消費量は, 10 mg タンパク質あたり ($\mu\text{l O}_2/10 \text{ mg protein/h}$), 100 mg 湿重量あたり ($\mu\text{l O}_2/100 \text{ mg wet weight/h}$), 及び組織の総湿重量あたり ($\mu\text{l O}_2/\text{total wet weight/h}$) で表示した。

4. IBAT グリコーゲン含量, タンパク質含量の測定

IBAT グリコーゲン含量の測定は, Lo らの方法に従った¹²⁾。IBAT タンパク質濃度の測定は, Schacterle と Pollack の方法に従った¹⁶⁾。比色測定には, 分光光度計 (HITACHI 100-40 型) を用いた。

5. 統計的処理

各群では, まずその平均値と標準誤差を算出した。次に, 分散の検定には, Bartlett 法を, 平均値の検定には一元配置分散分析法を用いた。各群間の平均値の差の検定には Duncan の多範囲検定法を用いた。また, IBAT 10 mg タンパク質あたりの酸素消費量と体重, 総湿重量, グリコーゲン含量とタンパク質濃度の相関を求め有

意性の検定を行った。有意水準は, 5 % ($p < 0.05$) とした⁹⁾。

III 結 果

1. 体重, 摂食量及び IBAT の組織重量について

体重, IBAT 総湿重量と体重 100 g あたりの IBAT 湿重量の平均値と標準誤差を表 1 に示した。体重は, 0 時点に比べ摂食開始後の全ての時点で有意に重かった。摂食開始前 180 分と 0 時点では差が認められなかった。また摂食開始後 180, 240 分の両時点では欠食群に比べ摂食群が有意に重かった。IBAT 総湿重量と体重 100 g あたりの IBAT 湿重量は, 0 時点に対し摂食開始後の全ての時点で有意な差が認められなかった。摂食開始前 180 分時点と 0 時点の比較では 0 時点が有意に軽かった。摂食開始後 240 分の時点では, 体重 100 g あたりの湿重量で欠食群が摂食群に比べ有意に重かった。IBAT 総湿重量と体重 100 g 当たりの湿重量の摂食に伴う経時的变化では, 摂食開始から 90 分時点まで減少し, 120, 180 分時点で増加し, 240 分時点で再び減少するという傾向がみられた。

Table 1. Body weight and IBAT weight

Time Number of rats	Time after initiation of feeding (min)									
	Meal-fed								Meal-deprived	
	-180 (6)	0 (15)	30 (6)	60 (6)	90 (6)	120 (6)	180 (6)	240 (6)	180 (6)	240 (6)
Body weight (g)										
	241 ±3	246 ±5	271* ±3	277* ±2	270* ±4	284* ±2	271* ±3	272* ±2	248+ ±7	253+ ±2
Total IBAT weight (mg)										
	250* ±15	190 ±9	186 ±12	182 ±10	170 ±6	211 ±13	212 ±16	164 ±8	169 ±5	189 ±10
IBAT weight/100g Body Weight (mg/100g B. W.)										
	104* ±6	78 ±5	71 ±5	66 ±3	63 ±2	74 ±5	79 ±7	60 ±3	69 ±2	75+ ±4

Values are expressed as mean ± SEM.

* : Significant difference from the value at 0 min (* ; $p < 0.05$)

+ : Significant difference from the value at the same time in meal-fed group (+ ; $p < 0.05$)

Table 2. Glycogen content and protein content of the IBAT

Time Number of rats	Time after initiation of feeding (min)								Meal-deprived	
	Meal-fed								180	240
	-180	0	30	60	90	120	180	240	(6)	(6)
Glycogen content (mg/g)										
	1.6	3.3	4.9	7.3	9.2*	5.5	8.4*	5.5	2.5 ⁺	1.4 ⁺
	±0.6	±0.7	±1.3	±2.3	±1.8	±0.8	2.3	±1.4	±0.7	±0.4
Total glycogen content (mg/total wet weight)										
	0.4	0.6	0.9	1.3*	1.6*	1.2*	1.9*	0.9	0.4 ⁺	0.3 ⁺
	±0.1	±0.1	±0.2	±0.4	±0.3	±0.2	±0.6	±0.2	±0.1	±0.1
Protein content (%)										
	15	15	14	15	13	14	14	15	14	14
	±0.5	±0.4	±0.7	±0.7	±1	±0.7	±0.8	±0.2	±0.3	±0.8

Values are expressed as mean ± SEM.

Other legends are the same as in Table 1.

2. IBAT グリコーゲン含量, タンパク質濃度について

IBAT グリコーゲン含量, タンパク質濃度の平均値と標準誤差を表2に示した。1 gあたりのIBAT グリコーゲン含量は, 0時点に比べ摂食開始後90, 180分時点で有意に高値を示した。総グリコーゲン含量は, 0時点に比べ摂食開始後60, 90, 120, 180分の各時点で有意に高値を示した。摂食開始前180分と0時点を比べると0時点が高値を示す傾向にあった。摂食開始後180, 240分時点での摂食群と欠食群を比べると, 両時点で摂食群が有意に高値を示した。グリコーゲン含量の摂食に伴う経時変化は, 摂食開始より180分時点まで増加し, 240分時点で減少する傾向がみられた。

IBAT のタンパク質濃度は, 摂食に伴う経時変化はみられなかった。摂食開始前180分と0時点の比較でも差がみられなかった。また摂食開始後180, 240分時点での摂食群と欠食群の比較でも差がみられなかった。

3. IBAT 酸素消費量について

IBAT の10 mg タンパク質あたり, 100 mg 湿重量あたりおよび総湿重量あたりのそれぞれの酸素消費量について図1に示した。IBAT 酸素消費量は, 10 mg タンパク質あたり, 100 mg 湿重量あたりおよび総湿重量あたりの全ての表

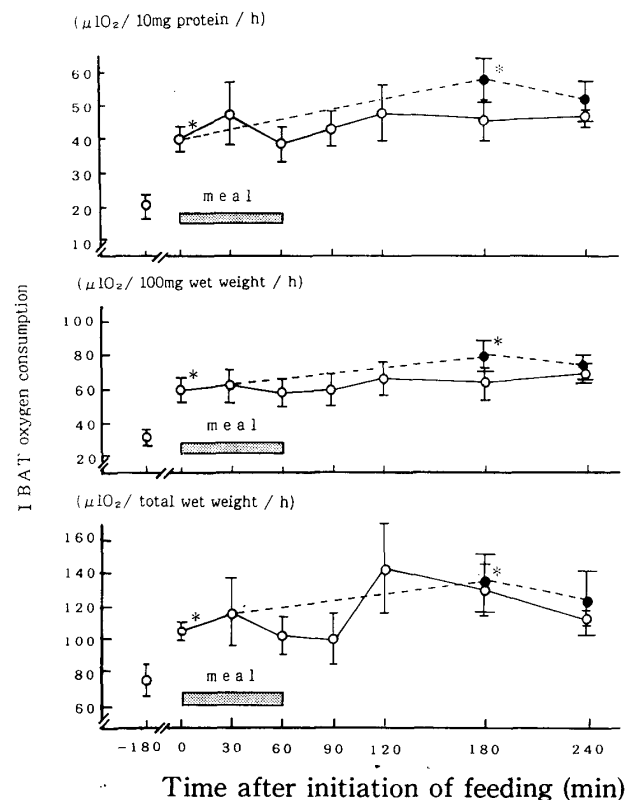


Fig. 1. Time course in oxygen consumption of IBAT after initiation of feeding and comparison between meal-fed and meal-deprived rats. Each point and vertical line represent mean and SEM for 6 rats (except for 0 min: 15 rats). ○—○, meal-fed, ●—●, meal-deprived rats.

Other legends are the same as in Table 1.

示で0時点に比べ摂食開始後の全ての時点で有意な差はみられなかった。摂食開始前180分と0時点を比べると、0時点が180分時点に比べ全ての表示で有意に高値を示した。摂食開始後180, 240分時点での摂食群と欠食群では差が認められなかった。また欠食群は0時点に比べ180分の時点で有意に高値を示した。

4. 10 mg タンパクあたりの IBAT 酸素消費量と体重, 総湿重量, グリコーゲン含量, タンパク質濃度の相関について

10 mg タンパクあたりの IBAT 酸素消費量と他の項目との相関についてみると、体重($r=0.348$)とグリコーゲン含量($r=0.418$)の間で有意な弱い正の相関がみられた。組織重量($r=-0.278$)とタンパク質含量($r=-0.333$)の間で有意な弱い負の相関がみられた。

IV 考 察

褐色脂肪組織は、古くから動物での非ふるえ熱産生 (Non-Shivering Thermogenesis : NST) における主要な熱産生器官であることが知られている¹⁰⁾。また近年は、この BAT が、余剰エネルギーを熱として消費する食事誘発性体熱産生 (DIT) において主要な関与をしていることが明らかになってきた。現在、DIT には、栄養素の異化、同化に必要なエネルギー消費による体熱産生上昇という、いわば「義務的」な面と、過剰のエネルギーを消費することで生体のエネルギーバランスをとろうとする、いわば「適応的」な面の二つの面があるとされている。そして、その二つの DIT には BAT がともに主要な関与をしていることが示されている¹⁵⁾。

今回は、標準食を用い人間の食生活に近い1日2食制という時間制限食の条件で飼育したラットで、1回の食事に対する IBAT の経時的な応答をみることにより IBAT の関与について検討を加えた。以下、摂食に対する IBAT の組織重量、グリコーゲン含量、タンパク質濃度および酸素消費量の応答について順に考察する。

IBAT の組織重量に関して、非ふるえ熱産生研究の面からは、寒冷に適応したラットでは適

応していないラットより IBAT 組織重量が重くなるという報告がされている³⁾。栄養的な面からは、長期の過食によって IBAT が肥大し重量が重くなるとする報告や⁶⁾、1回の摂食により欠食したラットに比べ IBAT 重量が重くなるとする報告がある⁴⁾。また組織重量と熱産生との関係について、明らかに肥大した IBAT では、その内因性の酸素消費量が上昇している、つまり熱産生が高まっていることが示唆されている⁴⁾。Glick らは低タンパク質、高炭水化物食の1回の摂食に対して、摂食後2時間の時点で、摂食群の IBAT 重量は、欠食群のそれより有意に重いことを報告している⁴⁾。一方、谷らは活動期前期の一過性の欠食による IBAT 組織重量の変化は認められなかったと報告している¹⁹⁾。今回の結果から、IBAT 重量は摂食開始後120-180分の時点、(摂食後1-2時間時点)で0時点に比較して有意ではないが重くなる傾向にあった。しかし、摂食開始後180, 240分時点での摂食群と欠食群を比べると、摂食による影響は明らかではなかった。経時的变化の結果と摂食群、欠食群を比べた結果から、今回の実験では、摂食による影響は明らかではなかった。

次に IBAT グリコーゲン含量の応答であるが、Glick らはラットで1回の摂食に対し BAT のグリコーゲン含量は、摂食群が欠食群より高値を示し、このグリコーゲン含量の増加と脂肪量の増加は、摂食による BAT の肥大に関係していると報告している⁶⁾。また、谷らも同様に摂食による組織グリコーゲン含量の増加を認めている¹⁹⁾。今回の結果から IBAT グリコーゲン含量は、摂食により経時的に増加する傾向が観察された。また、摂食開始後180, 240分時点での摂食群と欠食群を比べると、摂食群が欠食群に比べて高値を示し、先の Glick らの報告と一致した。しかし、IBAT 重量との関係において一部異なっていた。組織重量は上記のように摂食による影響が明らかでなく、グリコーゲン含量は摂食により明らかに増加していた。このことは谷らも同様の結果を認めている¹⁹⁾。今回、脂質の含量については測定をしていないが、今回の結果を考慮に入れると、グリコーゲン量の増加

は、組織重量の増加にあまり関係せず、脂質の増加がより関係しているのではないかと考えられる。

IBAT タンパク質濃度は、今回の結果から経時的に明確な変動は認められず、欠食による影響も明らかでなかった。タンパク質濃度については、同じく谷らが一過性の欠食による影響は認められなかったと報告している¹⁹⁾。同様に Glick らは1回の摂食に対して摂食群と欠食群では有意な差がなかったことを報告している⁹⁾。本実験も先の研究と同様の結果であった。

IBAT の *in vitro* での酸素消費量に関して、Glick らは今回と同様な内因性の酸素消費量測定から1回の摂食に対し、摂食群が欠食群に比べ高値を示すことを報告している⁴⁾。また、谷らも同様に摂食群が欠食群に比べ高値を示すと報告している¹⁹⁾。今回の結果から、摂食群と欠食群では、摂食開始後 180, 240 分の両時点で両群間に有意な差は認められなかったが、やや欠食群が高値を示し、また、0 時点との比較でも欠食群が高値を示し、Glick ら及び谷らの報告と異なった傾向にあった。これは、内分泌系¹⁴⁾ や交感神経系^{11,17)} の支配を受けている IBAT において、欠食したことによる影響や求餌行動、また摂食時間帯が活動期初期であるということが刺激になり交感神経系が活性化し、IBAT の活性が高まり酸素消費量が多くなったものと考えられるが、詳しい理由は明らかでない。また、今回の結果から IBAT の酸素消費量は摂食開始前 180 分に比べ 0 時点ですでに高値を示していた。これは、摂食開始前ですでに IBAT の呼吸活性が亢進していたと考えられるが、この 0 時点で同時に組織重量は摂食開始前 180 分に比べ有意に低値を示し、かつグリコーゲン含量は高値を示していた。このことはこれまでの IBAT の肥大と呼吸活性が密接に関連しているとする報告と異なる結果であるが、これは IBAT の内因性の脂肪が呼吸の主要なエネルギー源として消費され、すでに組織の活性が高まっていたと考えられる。このことから今回の条件ではラットが時間制限給餌に対して予知的に応答していることが推察される。これは

IBAT を支配している内分泌系や交感神経系が時間制限給餌の影響を受けた結果、摂食開始時点の IBAT ですでに代謝が活発になり脂肪分解が亢進し、熱産生が盛んになり酸素消費が高くなっていたものと考えられる。

以上、1日2食の Meal-feeding で飼育したラットの摂食に対する IBAT の応答は、これまでの報告と一部異なることから、摂食様式の違いによる DIT に対する BAT の関与も異なることが示唆された。また、IBAT の酸素消費量が摂食開始前に比べ開始時にすでに高まっていたことから、Meal-feeding により IBAT は摂食に対して予知的に応答することが示唆された。

V 要 約

本研究では、1日2食の時間制限食で飼育した生後5週令の雄ラットを用いて、活動期初期の1回の摂食に対する体熱産生応答に BAT がいかなる関与をしているかについて検討した。主な結果は以下のとおりである。

- 1) IBAT 総湿重量は、0 時点に対し摂食開始後の全ての時点で有意な差が認められなかった。摂食開始前 180 時点と 0 時点の比較では IBAT 総湿重量と体重 100 g あたりの湿重量ともに 0 時点が有意に軽かった。摂食群と欠食群で 240 分時点で欠食群が重かった。
- 2) 1 g あたりの IBAT グリコーゲン含量は 0 時点に比べ摂食開始後 90, 180 分時点で有意に高値を示した。総グリコーゲン含量は 0 時点に比べ摂食開始後 60, 90, 120, 180 分時点で有意に高値を示した。摂食群と欠食群を比べると 180, 240 両時点で摂食群が有意に高値を示した。IBAT の蛋白質濃度は摂食に伴う経時変化はみられなかった。
- 3) IBAT 酸素消費量は 10 mg タンパク質あたり、100 mg 湿重量あたりおよび総湿重量あたりの全ての表示で 0 時点に比べ摂食開始後の全時点で有意な差は認められなかった。摂食開始前 180 分と 0 時点とを比べると、0 時点が 180 時点に比べ全ての表示で有意に高値を示した。摂食群と欠食群の比較では欠食群が高

値を示す傾向にあった。

4) 10 mg タンパクあたりの IBAT 酸素消費量と他の項目との相関についてみると、体重とグリコーゲン含量に対しては有意な弱い正の相関がみられ、組織重量とタンパク質含量に対しては有意な弱い負の相関がみられた。

以上、1日2食の Meal-feeding で飼育したラットの摂食に対する IBAT の応答がこれまでの報告と一部異なることから、摂食様式の違いによる DIT に対する BAT の関与も異なることが示唆された。また、IBAT の酸素消費量が摂食開始前に比べ開始時にすでに高まっていたことから、Meal-feeding により IBAT は摂食に対して予知的に応答することが示唆された。

引用文献

- 1) Cottle, M. K. W., and Cottle, W. H. Adrenergic fibers in brown fat of cold-acclimated rats. *J. Histochem. Cytochem.* 18, 116-119, 1970.
- 2) Forsum, E., Hillman, P. E., and Nesheim, M. C. Effect of energy restriction on total heat production, basal metabolic rate, and specific dynamic action of food in rats. *J. Nutr.* 111, 1691-1697, 1981.
- 3) Foster, O. D., and Frydman, N. L. Nonshivering thermogenesis in the rat. II. Measurement of blood flow with microspheres point to brown adipose tissue as the dominant site of the calorigenesis induced by noradrenaline. *Can. J. Physiol.* 56, 110-122, 1977.
- 4) Glick, Z., Teague, R. J., and Bray, G. A. Brown adipose tissue : Thermic response increased by a single low protein, high carbohydrate meal. *Science* 213, 1125-1127, 1981.
- 5) Glick, Z. Inverse relationship between brown fat thermogenesis and meal size : the thermostatic control of food intake revisited. *Physiol. Behav.* 29, (6), 1137-1140, 1982.
- 6) Glick, Z., Teague, R. J., Bray, G. A., and Lee, M. Composition and metabolic changes in brown adipose tissue following a single test meal. *Metabolism* 32, 1146-1150, 1983.
- 7) Glick, Z., Wickler, S. J., Stern, J. S., and Horwits, B. A. Regional blood flow in rats after a single low-protein, high-carbohydrate test meal. *Am. J. Physiol.* 247, 160-166, 1984.
- 8) Himms-Hagen, J. Brown adipose tissue thermogenesis in obese animal. *Nutr. Rev.* 41, (9), 261-267, 1983.
- 9) 石居進 生物統計学入門, 169-181, 培風館, 東京, 1988.
- 10) Joel, C. D. Handbook of Physiology. Section 5. Adipose tissue, The physiological role of brown adipose tissue. The Williams & Wilkins Company, Baltimore, 59-85, 1965.
- 11) 黒島晨汎 環境生理学, 61-71, 理工学社, 東京, 1981.
- 12) Lo, S., Russell, J. C. Tayler, A. W. Determination of glycogen in small tissue sample. *J. Appl. Physiol.* 28, (2), 234-236, 1970.
- 13) Rothwell, N. J., and Stock, M. J. A role for brown adipose tissue in diet-induced thermogenesis, *Nature* 281, 6(9), 31-35, 1979.
- 14) Rothwell, N. J., Saville, M. E., Stock, M. J., and Wyllie, M. G. Catecholamine and thyroid hormone influence on brown fat Na^+ , K^+ -ATPase activity and thermogenesis in the rat. *Horm. Metabol. Res.* 14, 261-265, 1982.
- 15) Rothwell, N. J., and Stock, M. J. Mammalian Thermogenesis, Diet-Induced Thermogenesis, 208-233, Chapman & Hall, London, 1983.

- 16) Schacterle, G. R., and Pollack, R. L. A simplified method for the quantitative assay of small amounts of protein in biologic material. *Anal. Biochem.* 51, 654-655, 1973.
- 17) Seydoux, J., and Girardier, L. Control of brown fat thermogenesis by the sympathetic nervous system. *Experientia Basel* 33, 1128-1130, 1978.
- 18) Smith, R. E., and Horwitz, B. A. Brown fat and thermogenesis. *Physiol. Rev.* 49, 330-425, 1969.
- 19) 谷健二, 山本章, 国崎弘 欠食に関する研究——活動期前の欠食がラットの褐色脂肪組織, 肝臓, 心臓および大脳の熱産生に及ぼす影響。静岡大学教育学部研究報告(自然科学編), 37, 41-49, 1986.